

Doktori (*Ph.D.*) értekezés tézisei

Analitikai módszerek fejlesztése folyadék és szilárd minták LIBS vizsgálatára

METZINGER ANIKÓ

TÉMAVEZETŐ:

Dr. Galbács Gábor

egyetemi docens

Kémia Doktori Iskola

Szegedi Tudományegyetem

Természettudományi és Informatikai Kar

Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszék



Szeged

1. Bevezetés

A lézer indukált plazma spektroszkópia (laser induced breakdown spectroscopy, LIBS) működése a lézerfény-anyag kölcsönhatáson alapul. A LIBS spektrométerekben a mintafelszínre (fluid közegű minta esetében esetleg annak belsejébe) fókuszált rövid impulzushosszúságú, nagy intenzitású lézernyalábbal a fókuszfoltban olyan nagy teljesítménysűrűséget hoznak létre, hogy a mintában elnyelődő fény ps-ns időtartam alatt elpárologtatja, termikusan atomizálja, gerjeszti és ionizálja a mintakomponenseket. Mikroplazma képződik, amelynek atomemissziós spektroszkópiai megfigyeléséből származik az analitikai információ. Az atomizáló és gerjesztő forrás szerepét a lézer indukált plazma (LIP) tölti be.

A LIBS spektroszkópia számos előnnyel rendelkezik a hagyományos atomspektroszkópiai módszerekkel szemben. Így például a mérés a minta halmazállapotától függetlenül gyorsan, akár *in situ* végrehajtható. Mikrodestruktív, vagyis mintaigénye minimális (legfeljebb pár μg), és csak minimális mintaelőkészítést igényel. A lézer indukált plazma kis mérete lehetőséget nyújt térben felbontott mérések végrehajtásához. A mérés jellegzetes, „ujjlenyomatszerű”, minőségi azonosításra alkalmas spektrumokat eredményez. Terepi mérések megvalósítása is lehetséges kompakt, hordozható LIBS rendszerekkel. Az újabb kutatások azt is megmutatták, hogy egy helyett kettő vagy több, egymást időben szorosan követő lézerimpulzussal a LIBS spektroszkópia teljesítőképessége tovább javítható (double-pulse vagy multi-pulse LIBS, röviden DP-LIBS, illetve MP-LIBS).

Az elmúlt egy-két évtizedben az optoelektronikai eszközök és a lézerspektroszkópiai módszerek igen gyorsan fejlődtek, aminek köszönhetően ma a LIBS spektroszkópiát is egyre több kutatási és ipari területen alkalmazzák. A LIBS spektroszkópia népszerűsége egyedi jellemzőinek köszönhetően évről-évre egyre nagyobb. A témában évente több száz tudományos publikáció jelenik meg, és ezzel ez az analitikai atomspektroszkópia egyik legaktívabban kutatott területe. Tanszéki kutatócsoportunk 1999 óta foglalkozik a lézer indukált plazmák tanulmányozásával és LIBS analitikai módszerek fejlesztésével.

2. Célkitűzés

Kutatócsoportunk az elsők között ismerte fel az MP-LIBS módszerben rejlő analitikai lehetőségeket és vette fel kutatási profiljába az MP-LIBS mérések megvalósítására alkalmas műszerek és analitikai módszerek fejlesztését. Korábbi eredményeink részletesen dokumentálták az MP-LIBS módszerrel elérhető analitikai mérőszámokat és magyarázatot adtak a teljesítménynövekedés okaira. A jelen értekezéshez vezető kísérleti munka egyik célkitűzése ennek nyomán az volt, hogy az MP-LIBS módszer alkalmazhatóságát megvizsgáljuk nagy gyakorlati jelentőséggel bíró kvantitatív analitikai alkalmazásokban is.

A kvalitatív diszkriminációs analízis az analitikai feladatok egyik fontos részterülete (pl. minőség-ellenőrzés, eredetiségvizsgálat). Az információgazdag, „ujjlenyomatszerű” spektrumoknak, a nagyon rövid mérési időnek, valamint a mikroanalitikai jellegnek köszönhetően a LIBS spektroszkópia erre a célra igen alkalmas, ezért a kvantitatív analitikai feladatok mellett újabban egyre gyakrabban alkalmazzák kvalitatív elemzésekre is. Mindezek alapján célul tűztük ki új módszerek és adatkiértékelő eljárások kifejlesztését kvalitatív diszkriminációs LIBS analízis céljára.

A LIBS spektroszkópiát elsősorban szilárd minták analízisére alkalmazzák, ugyanis folyadék minták vizsgálatakor vagy szilárd minták folyadék közegben történő mérésekor számos technikai nehézséggel – például fókuszálási és detektálási nehézségekkel – kell szembenézni. A technikai nehézségek ellenére, mivel számos alkalmazási területen rendkívül hasznos lenne a folyadékminták LIBS spektroszkópia által ígért *in situ*, gyors, multieleemes és terepi mérése, ezért a legutóbbi években ezek a kutatások az érdeklődés homlokterébe kerültek. Ennek következtében mi is célul tűztük ki olyan mintaprezentációs módszerek és eszközök kidolgozását, amelyekkel megvalósítható kis térfogatú (tipikusan μL térfogatú) folyadék minták elemzése.

3. Műszerek, kísérleti módszerek és eljárások

Kísérleteim során a különféle speciális alkalmazások igényeitől függően ötféle, kissé eltérő felépítésű, nanoszekundumos lézerimpulzusokkal dolgozó LIBS rendszert, illetve ablációs lézert használtam.

Azokban a kísérletekben, amelyeknél terepen is végrehajtható mintaelőkészítés és mérés megvalósítása volt a cél, ott az Applied Photonics (Nagy-Britannia) kereskedelmi forgalomban kapható, kompakt, hordozható LIBScan 25+ rendszerét használtam. Ez a rendszer egy Q-kapcsolós Nd:YAG szilárdtestlézert tartalmaz, melynek emissziós hullámhossza 1064 nm, maximális impulzusenergiája 50 mJ, az impulzushossza 4-6 ns, ismétlési frekvenciája pedig 1 Hz. A beépített száloptikás spektrométer a 238-353 nm, illetve a 360-455 nm hullámhossz tartományokban képes méréseket végezni. A lézerfényt fókuszáló és az emittált fényt gyűjtő optikai rendszer egy közös, szabadalmazott kialakítású fejegységbe van beépítve.

A nagy impulzusenergiát igénylő kísérletekben egy laboratóriumi KYP-1QS/W típusú (Hefei Anhey Optic-Electronic, Kína) aktív Q-kapcsolós, Nd:YAG lézert alkalmaztam, melynek hullámhossza 1064 nm, maximális impulzusenergiája 300 mJ, impulzushossza 8 ns. A spektroszkópai adatgyűjtést egy száloptikás CCD spektrométer (AvaSpec FT2048, Avantes, Hollandia) végezte, az UV (198-318 nm) és a látható (345-888 nm) spektrumtartományokban. A spektrométer és a lézer szinkronizációját egy impulzusgenerátor (TGP-110, Thurlby Thundar Instruments, Nagy-Britannia) és egy gyors fotodióda (DET10A, Thorlabs, USA) segítségével értem el. Az impulzusok alakját folyamatosan monitoroztam egy digitális oszcilloszkóppal (TDS-1002, Tektronix, USA).

Az MP-LIBS módszer kvantitatív analitikai feladatban való alkalmazhatóságának vizsgálatához, illetve a poli(dimetil-sziloxán) több impulzus hatására bekövetkező lézer ablációs viselkedésének tanulmányozásához egy olyan rendszerre volt szükség, amely képes a többimpulzusos üzemmódra is. A kísérleti berendezés egy Brunel SP80

mikroszkóp köré lett felépítve, melyhez társul egy gyors triggerelésű, 2048 pixel felbontású, optikai CCD spektrométer (AvaSpec 2048FT, Avantes, Hollandia). A lézer egy passzív Q-kapcsolóval ellátott, villanólámpával pumpált Nd:GGG szilárdtestlézer (MP/G-Q-005, Technoorg-Linda, Magyarország). A többszörös lézerimpulzus időbeli szerkezetét a fentebb említett fotodióda és egy oszcilloszkóp (TDS-1002, Tektronix, USA) segítségével vizsgáltam.

A víz alatti szilárd minták vizsgálatát Prof. Dr. Javier Laserna (Universidad de Malaga) laboratóriumában DP-LIBS rendszerrel valósítottam meg, egy Quantel Twins B Brilliant típusú berendezéssel (Coherent Scientific, Ausztrália), mely két darab Q-kapcsolt Nd:YAG lézert (1064 nm és 532 nm, 10 Hz, 400 mJ/impulzus, 5,5 ns impulzushossz) tartalmaz. Annak érdekében, hogy a tengeri körülményekhez közel hasonló kondíciókat hozzunk létre a laborban, a mintákat egy 100 liter kapacitású tankba (35 cm x 80 cm x 41 cm) helyeztük. A lézernyaláb egy kvarc lencse (100, 200, 300, 500, 800 mm fókusztávolságú) által lett a mintára fókuszálva. A spektroszkópiai adatgyűjtés egy spektrométer (AvaSpec-2048-2-USB2) és egy száloptika (2 m hosszú, 600 μ m átmérőjű, NA=0,22) segítségével történt a 300-500 nm-es tartományban.

A poli(dimetil-sziloxán) általános lézer ablációs viselkedésének tanulmányozásához egy nagy impulzusenergiájú és hullámhosszváltós lézerre volt szükség a különböző lézer paraméterek hatásának felderítése érdekében. A Thunder Art Nd:YAG lézer (Quanta Systems, Olaszország) erre a célra alkalmas volt, hiszen 1064, 532 és 266 nm-en is működtethető és a maximális impulzusenergiái a különböző hullámhosszakon 900, 500 és 220 mJ. Az impulzusok hossza 7-9 ns, a maximális ismétlési frekvencia pedig 20 Hz.

A lézer abláció során bekövetkező változások dokumentálásához optikai mikroszkópiát, kontakt profilometriát és FT-IR spektroszkópiát alkalmaztam. A mikroszkópos megfigyeléseket egy B600-TiFl (Optika, Olaszország) és egy Labophot-2 (Nikon, Japán) típusú optikai mikroszkóppal, a kontakt profilometriát egy Dektak-8 (Veeco, USA) berendezéssel, az FT-IR méréseket pedig egy FTS-65A/896 (Bio-Rad, USA) típusú spektrométerrel végeztem. Az elemösszetétel meghatározását és a referencia méréseket egy Agilent 7500ce

típusú ICP-MS (Agilent Technologies, USA) és egy Jobin-Yvon 24 típusú ICP-AES (ISA Jobin Yvon, Franciaország) készüléssel végeztem.

A spektroszkópai adatok rögzítése az AvaSoft 7.4 (Avantes, Hollandia) és LIBSoft V9.0.5 (Applied Photonics, Nagy-Britannia) szoftverekkel történt. A kiértékelés a Peax 2 (Systematix AB, Svédország), Origin 8.6 (OriginLab, USA), Office Excel 2010 (Microsoft, USA) és Matlab R2012b (MathWorks, USA) szoftverekkel történt. A mikroszkópos képeket a TSView (Fuzhou Tucszen Image Technology, Kína) szoftver segítségével vettem fel, az ábrák és illusztrációk egy részét pedig az Origin 8.6 (OriginLab, USA) és Xara X (Xara, Nagy-Britannia) szoftverekkel készítettem.

A kísérletek során felhasznált fémek és vegyszerek analitikai tisztaságúak voltak. A kalibrációs oldatok elkészítéséhez ICP-AES és ICP-MS standardekot használtam. A kvalitatív diszkriminációs mérésekhez kereskedelmi forgalomban kapható, különböző összetételű forrasztanyagokat, öt különböző típusú ásványi szenet és nagytisztaságú grafitot, hat különböző papírt (irodai, félfamentes, színes) és nyolc különböző típusú nyomtató színyanyagát (festék, toner) vizsgáltam. A poli(dimetil-sziloxán) mikrofluidikai csatornákat a Debreceni Egyetem Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszékén készítették el számomra „soft lithography” technikával a Sylgard 184 (Dow Corning, USA) kitt felhasználásával.

4. Az új tudományos eredmények tézisszerű bemutatása

- 1.** Különböző összetételű forrasztanyagok Pb és Sn tartalmának mérése révén megmutattam, hogy az MP-LIBS spektrometria teljesítőképessége kvantitatív analitikai alkalmazásokban jelentősen felülmúlja a szokásos SP-LIBS spektrometriáét. A kedvező plazmabeli kondícióknak köszönhetően az MP-LIBS kalibrációs görbék dinamikus tartománya jelentősen szélesebb. A mérhető felső koncentráció határ akár 40-60 m/m% is lehet, míg az SP-LIBS spektrometriában ez ritkán haladja meg a 2-3% értéket. ICP-AES spektrometriai referencia mérések alapján a vizsgált alkalmazásban az MP-LIBS eredmények pontossága jó (a mérési hiba 1-5%), a precizitás pedig 5% körüli. Az MP-LIBS spektrometria kvantitatív analitikai teljesítményjellemzői előnyösen alkalmazhatóvá teszik lokalizált és gyors ipari mérések elvégzésére.
- 2.** Számos komparatív függvény és fejlett többváltozós statisztikai eljárás teljesítőképességének összehasonlítása után és többféle minta mérése révén bizonyítottam, hogy megfelelő kiértékelési eljárás esetén a LIBS spektrumok igen eredményesen használhatók fel szilárd minták kvalitatív diszkriminációs analízisére. Az analízishez a legtöbb esetben mintánként mindössze egyetlen lézerpulzus szükséges, vagyis a módszer gyors és mikrodestruktív. Ezek az eredmények ipari, régészeti vagy bűnügyi alkalmazásokban jól kihasználhatók.

2a) Megmutattam, hogy az átfedési integrál módszerével összehasonlítva fémötvözet (forrasztanyag) minták LIBS spektrumai nagy megbízhatósággal megkülönböztethetők egymástól még olyan esetekben is, amikor a minták főkomponens összetételükben nem, csak nyomszennyezőik mintázatában térnek el egymástól.

- 2b)** Összesen 54-féle üres illetve különböző digitális nyomtatókkal nyomtatott papírminta lézer ablációs viselkedésének tanulmányozása után demonstráltam, hogy megfelelő komparatív vagy többváltozós statisztikai eljárás segítségével mind a papír típusa, mind a nyomtató típusa nagy pontossággal azonosítható LIBS spektrumaik alapján. A legjobb eredményt a diszkriminancia analízissel kombinált többváltozós görbefelbontás módszerével (MCR-ALS/DA) sikerült elérni, amely pontossága 96% volt a papír, illetve 83% a nyomtató típusának azonosításában.
- 3.** Részletesen megvizsgáltam többféle olyan mintaprezentációs módszer teljesítőképességét, amelyek folyadékminták LIBS mérését teszik lehetővé. Az eredmények felhasználásával sikeresen terveztem és építettem meg kétféle LIBS ablációs kamrát, amelyek alkalmasak biológiailag és/vagy kémiai veszélyes folyadékminták zárt rendszerű mérésére. Ezen mintakamrákat úgy alakítottam ki, hogy segítségükkel kis térfogatú (μL) minták gyors, terepi mérése is lehetséges legyen. Az alkalmazhatóságot egy kompakt, hordozható LIBS műszer segítségével sikeresen demonstráltam cézium humán vérszérum és vizelet mintákban való mérésével. A két mátrixban a kísérletek során elért abszolút kimutatási határ 6 és 27 ng volt.
- 4.** Az irodalomban elsőként valósítottam meg LIBS detektor illesztését poli(dimetil-sziloxán) (PDMS) alapú mikrofluidikai eszközökhöz. A kifejlesztett eszköz révén kis minta és reagens térfogatok felhasználásával, gyorsan lehet folyadékminták mintaelőkészítését és elemanalízisét megvalósítani, szükség esetén a terepen is.
- 4a)** Többféle spektroszkópai és mikroszkópiás vizsgálati eljárás alkalmazásával elsőként tanulmányoztam és dokumentáltam a PDMS polimer ablációs viselkedését mind önálló lézerimpulzusok, mind rövid impulzuskövetési időkkal (μs tartomány) jellemezhető impulzussorozatok hatása alatt.

- 4b)** Sikeresen végeztem el Cr(III) és Cr(VI) speciációs analízisét vízmintában a kifejlesztett, LIBS detektorral kapcsolt mikrofluidikai eszközzel. Az ionok elválasztását a mikrofluidikai csatornában C18 mikrokolonna kialakításával és tetrabutil-ammónium-bromiddal való ionpárképzés segítségével valósítottam meg. A 0,5 μ L térfogatú folyadékmintából elért kimutatási határ 2 ng, a visszanyerés 90% feletti érték volt.
- 5.** Az irodalomban elsőként végeztem szisztematikus kísérleteket víz alatt elhelyezett szilárd minták kolineáris DP-LIBS spektroszkópai vizsgálati lehetőségeinek felderítésére. Részletesen vizsgáltam a kísérleti körülmények (a víz hőmérséklete, a víz alatti optikai úthossz, az impulzuskövetési idő és detektálási időablak késleltetési idejének) hatását az analitikai jelekre. Megállapítottam, hogy az optimális impulzuskövetési idő jelentősen csökken a víz alatti optikai úthossz növelésével, míg a víz hőmérsékletének csökkenése jelcsökkentő hatással bír. A víz alatti optikai úthossz növelésével csökken a jelintenzitás és az ablált anyagmennyiség. Az optimális detektálási késleltetési idő minden esetben 700 ns-nak adódott. Az alapkutatási célokon túl az eredmények tengeri archeológiai vizsgálatok során alkalmazhatók.

5. Tudományos közlemények

Magyar Tudományos Művek Tára (MTMT) azonosító: 10037134

Az értekezés alapjául szolgáló folyóirat közlemények:

1. G. Galbács, N. Jedlinszki, **A. Metzinger**: Analysis and discrimination of soldering tin samples by collinear multi-pulse laser induced breakdown spectrometry, supported by inductively coupled plasma optical emission and mass spectrometry, *Microchemical Journal*, 107 (2013) 17-24
IF₂₀₁₃= 3,583
2. **A. Metzinger**, É. Kovács-Széles, I. Almási, G. Galbács: An assessment of the potential of laser induced-breakdown spectrometry for the analysis of cesium in liquid samples of biological origin, *Applied Spectroscopy*, 68 (2014) 789-793
IF₂₀₁₄= 1,875
3. Jedlinszki N., **Metzinger A.**, Galbács G.: Az analitikai teljesítőképesség javítása kísérleti és numerikus eljárásokkal a lézer indukált plazma spektrometriában, *Magyar Kémiai Folyóirat*, 120 (2014) 50-54
IF= -
4. **A. Metzinger**, R. Rajkó, G. Galbács: Discrimination of paper and print types based on their laser induced breakdown spectra, *Spectrochimica Acta Part B*, 94-95 (2014) 48-57
IF₂₀₁₄= 3,176
5. F. J. Fortes, S. Guirado, **A. Metzinger**, J. J. Laserna, A study of underwater stand-off laser-induced breakdown spectroscopy for chemical analysis of objects in the deep ocean, *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 30 (2015) 1050-1056
IF₂₀₁₄= 3,466

6. **A. Metzinger**, A. Nagy, A. Gáspár, Zs. Márton, É. Kovács-Széles, A. Buzás, G. Galbács, On the feasibility of liquid sample microanalysis using polydimethylsiloxane microfluidic chips with in-channel and in-port laser-induced breakdown spectroscopy, *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, (2015) közlésre benyújtva

IF₂₀₁₄ = 3,466

Σ IF_{elfogadott} = 12,100

További folyóirat közlemények:

1. Z. Csendes, G. Varga, N. V. Nagy, É. G. Bajnóczi, M. Sipiczki, S. Carlson, S. E. Canton, **A. Metzinger**, G. Galbács, P. Sipos, I. Palinko: Synthesis, structural characterisation, and catalytic activity of Mn(II)–protected amino acid complexes covalently immobilised on chloropropylated silica gel, *Catalysis Today*, 241 (2015) 264-269

IF₂₀₁₄ = 3,309

2. G. Galbács, H. Szokolai, A. Kormányos, A. Metzinger, L. Szekeres, C. Marcu, F. Peter, C. Muntean, A. Negrea, M. Ciopec, A. Jancsó, „Cd(II) capture ability of an immobilized, fluorescent 4 hexapeptide”, *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, 89 (2016) 243-253

IF₂₀₁₄ = 2,210

Σ IF_{elfogadott} = 17,619

Az értekezés alapjául szolgáló konferencia részvételek:

1. G. Galbács, N. Jedlinszki, **A. Metzinger**, K. Fintor: Use of complementary spectral information from micro-Raman and LIBS spectroscopy for discrimination between paper and printing ink types, *XIV. Hungarian-Italian Symposium on Spectrochemistry*, Magyarország, Sümeg, 2011. október 5-7. (poszter)
2. Galbács G., Jedlinszki N., **Metzinger A.**: Hasonló eredetű minták LIBS spektrumainak összehasonlítása a minták megkülönböztetése céljából, 55. *Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés*, Magyarország, Veszprém, 2012. július 9-11. (előadás)
3. **Metzinger A.**, A. Kadenkin, Galbács G., I. Gornushkin, Gáspár A.: Folyadékminták LIBS mérésére szolgáló mintaelőkészítési módszerek összehasonlítása, 55. *Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés*, Magyarország, Veszprém, 2012. július 9-11. (poszter)
4. **Metzinger A.**, Galbács G.: Folyadékminták vizsgálata LIBS spektroszkópiával, *Kémiai Előadói Napok*, Magyarország, Szeged, 2012. október 29-31. (előadás)
6. **Metzinger A.**, Palicskó K., Nagy A., Gáspár A., Márton Zs., Galbács G.: Poli(dimetil-sziloxán) anyagú mikrofluidikai eszközök optikai és lézer ablációs jellemzőinek vizsgálata, *"Környezetbarát anyagok és technológiák" konferencia és 56. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés*, Magyarország, Veszprém, 2013. július 1-3. (előadás)

7. **Metzinger A.**, Rajkó R., Galbács G.: Fejlett statisztikai adatkiértékelési módszerek alkalmazása papír- és nyomatminták megkülönböztetésére lézer indukált plazma spektrumaik alapján, *"Környezetbarát anyagok és technológiák" konferencia és 56. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés*, Magyarország, Veszprém, 2013. július 1-3.

(poszter)

5. **Metzinger A.**: LIBS spektrumok nyomelemanalitikai információinak felhasználása minták diszkriminációjára, *XXXI. Országos Tudományos Diákköri Konferencia, Kémia és Vegyipari Szekció*, Magyarország, Eger, 2013. április 3-5.

(előadás)

6. **A. Metzinger**, É. Kovács-Széles, I. Almási, G. Galbács: An assessment of the potential of laser induced breakdown spectrometry for the analysis of cesium in liquid samples of biological origin, *Proceedings of the 19th International Symposium on Analytical and Environmental Problems*, Magyarország, Szeged, 2013. szeptember 23.

(poszter)

7. **Metzinger A.**, Nagy A., Gáspár A., Márton Zs., Galbács G.: PDMS elasztomer lézer ablációs jellemzőinek vizsgálata, *XXXVI. Kémiai Előadói Napok*, Magyarország, Szeged, 2013. október 28-30.

(előadás)

8. G. Galbács, **A. Metzinger**, N. Jedlinszki, R. Rajkó: Laser induced breakdown spectrometry using multiple collinear laser pulses, *European Symposium on Atomic Spectrometry*, Csehország, Prága, 2014. március 16-21.

(előadás)

9. S. Guirado, F. J. Fortes, **A. Metzinger**, J. J. Laserna: Chemical analysis of archeological material underwater by laser-induced breakdown spectroscopy, *XIV. Reunión del Grupo Regional Andaluz de la Sociedad Española de Química Analítica*, Spanyolország, Madrid, 2014. június 26-27.

(poszter)

Analytical Methods Poszter díjazott

10. **Metzinger A.**, S. Guirado, F. J. Fortes, J. J. Laserna, Galbács G.: Folyadékminták analitikai teljesítőképességének és szilárd minták víz alatti mérési lehetőségének vizsgálata lézer indukált plazma spektroszkópiával, *I. Vízkémiai és Technológiai Konferencia és 57. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés*, Magyarország, Veszprém, 2014. július 7-9.

(előadás)

11. Nagy A., Baranyai E., **Metzinger A.**, Galbács G., Gáspár A.: Mikrofluidikai csipek fejlesztése atomspektrometriás detektorokhoz, *I. Vízkémiai és Technológiai Konferencia és 57. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés*, Magyarország, Veszprém, 2014. július 7-9.

(előadás)

12. A. Nagy, E. Baranyai, **A. Metzinger**, G. Galbács, A. Gáspár: Miniaturization efforts for atomic spectrometry, *14th Symposium and Summer School on Bioanalysis*, Szlovákia, Bratislava-Smolenice, 2014. június 18.- július 6.

(előadás)

13. **A. Metzinger**, D. Palásti, A. Nagy, A. Gáspár, É. Kovács-Széles, T. Ajtai, Z. Bozóki, G. Galbács: Analysis of liquid and aerosol samples by laser-induced breakdown spectroscopy, *European Winter Conference on Plasma Spectrochemistry*, Németország, Münster, 2015. február 22-26.

(poszter)

14. Palásti D., **Metzinger A.**, Rajkó R., Ajtai T., Kovács-Széles É., Galbács G.: Szénminták és az ezekből lézeres ablációval keltett aeroszolk vizsgálata lézer indukált plazma spektroszkópiával, *XII. Magyar Aeroszol Konferencia*, Magyarország, Szeged, 2015. március 18-20.

(poszter)

17. **A. Metzinger**, É. Kovács-Széles, G. Galbács, Development of analytical methods for the determination of Cs, Th, and U in nuclear run-off liquid samples by LIBS, *European Symposium on Atomic Spectrometry*, Magyarország, Eger, 2016. március 31- április 2.

(bejelentett

előadás)

További konferencia részvételek:

1. G. Galbács, N. Jedlinszki, Cs. Mezei, **A. Metzinger**: Signal normalization in multi-pulse laser induced breakdown spectrometry, *The International Symposium on Analytical and Environmental Problems, with Special Emphasis on Heavy Metal Ion as Contaminants*, Magyarország, Szeged, 2012. szeptember 24.

(poszter)

2. Kohut A., **Metzinger A.**, Márton Zs., L. Ludvigsson, K. Deppert, Geretovszky Zs., Galbács G.: Plazmaspektroszkópiai megfigyelések egy szikrakisülési nanorészecske generátorban, *"Környezetbarát anyagok és technológiák" konferencia és 56. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés*, Magyarország, Veszprém, 2013. július 1-3.

(előadás)

3. Kohut A., **Metzinger A.**, Márton Zs., Kopniczky J., Galbács G., Geretovszky Zs.: Nanorészecskék folyadékfázisú lézer ablációs előállítása és vizsgálata, *Proceedings of the 19th International Symposium on Analytical and Environmental Problems*, Magyarország, Szeged, 2013. szeptember 23.

(előadás)

4. Kálomista I., **Metzinger A.**, Galbács G.: Arany nanoszolok méreteloszlásának vizsgálata SP-ICP-MS módszerrel, *Proceedings of the 19th International Symposium on Analytical and Environmental Problems*, Magyarország, Szeged, 2013. szeptember 23.
(poszter)
5. A. Kohut, **A. Metzinger**, G. Galbács, L. Ludvigsson, B. O. Meuller, M. E. Messing, Zs. Márton, K. Deppert, Zs. Geretovszky: Emission spectroscopic investigation of the spark discharge used for Cu nanoparticle production, *European Aerosol Conference*, Csehország, Prága, 2013. szeptember 1-6.
(poszter)
6. Kálomista I., **Metzinger A.**, Galbács G.: Nanoszolok méreteloszlásának vizsgálata SP-ICP-MS módszerrel, *XXXVI. Kémiai Előadói Napok*, Magyarország, Szeged, 2013. október 28-30.
(előadás)
7. Kohut A., **Metzinger A.**, Márton Zs., L. Ludvigsson, K. Deppert, Galbács G., Geretovszky Zs.: Szikrakisüléses nanorészecske generátor emissziós spektroszkópiai vizsgálata Cu nanorészecskék előállítása közben, *XI. Magyar Aeroszol Konferencia*, Magyarország, Debrecen, 2013. október 28-30.
(poszter)
8. Kálomista I., **Metzinger A.**, Galbács G.: Fém és fénoxid típusú nanorészecskék vizsgálata, *XV. Eötvös Konferencia*, Magyarország, Budapest, 2014. április 25.
(előadás)
9. L. Ludvigsson, A. Kohut, **A. Metzinger**, G. Galbács, B. O. Meuller, M. E. Messing, Zs. Márton, K. Deppert, Zs. Geretovszky.: Spectroscopic investigation of fundamental spark properties during nanoparticle production, *Nordic Society for Aerosol Research - Aerosol Symposium 2014*, Svédország, Stockholm, 2014. január 30-31.
(előadás)

10. Kálomista I., Horváth G., **Metzinger A.**, Geretovszky Zs., Galbács G.: Lézeres ablációval és kémiai eljárással vizes közegben készített nanorészecskék vizsgálata, *I. Vízkémiai és Technológiai Konferencia és 57. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés*, Magyarország, Veszprém, 2014. július 7-9.

(poszter)

11. Galbács G., **Metzinger A.**, Kálomista I.: Induktív csatolású plazma tömegspektrometriás mérések deutérium tartalmú vizes közegű mintákban, *I. Vízkémiai és Technológiai Konferencia és 57. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés*, Magyarország, Veszprém, 2014. július 7-9.

(poszter)

12. I. Kálomista, G. Horváth, **A. Metzinger**, Zs. Geretovszky, G. Galbács: On the synthesis and characterization of metal and metal-oxide nanoparticles in aqueous medium, *6th Szeged International Workshop on Advances in Nanoscience*, Magyarország, Szeged, 2014. október 15-18.

(poszter)

13. A. Kohut, **A. Metzinger**, G. Galbács, L. Ludvigsson, B. Meuller, M. E. Messing, Zs. Márton, K. Deppert, Zs. Geretovszky: Au nanoparticle generation by spark discharge – An emission spectroscopic study, *6th Szeged International Workshop on Advances in Nanoscience*, Magyarország, Szeged, 2014. október 15-18.

(poszter)

14. I. Kálomista, **A. Metzinger**, G. Galbács: Rapid characterization of nanoparticles using single particle ICP-MS in cases complicated by spectral interferences, *European Winter Conference on Plasma Spectrochemistry*, Németország, Münster, 2015. február 22-26.

(poszter)

15. A. Jancsó, S. Bálint, L. Szekeres, H. Szokolai, L. Rózsahegyi, G. Galbács, A. Kormányos, **A. Metzinger**, I. Kálomista: Peptides as potential receptors for sensing metal ions, *XIII. International Symposium on Inorganic Biochemistry*, Lengyelország, Karpacz, 2015. szeptember 1-6.

(poszter)